

Мамалига В. М., Малай Т. В.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ ТА ПРИМІЩЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАМП РІЗНИХ ТИПІВ ДЛЯ КРАЇН ЄВРОСОЮЗУ (НІМЕЧЧИНА, ДАНІЯ, ПОЛЬЩА) ТА УКРАЇНИ

У роботі проаналізовано доцільність використання найпоширеніших варіантів систем зовнішнього та внутрішнього освітлення з використанням різних типів ламп для країн Європейського Союзу (Німеччина, Данія, Польща) та України. Дослідження проведено для систем зовнішнього освітлення, для роботи яких зазвичай використовуються світлодіодні (LED), ртутні та натрієві лампи, а також LED, енергоефективні та лампи розжарювання для систем внутрішнього освітлення (офісні та житлові приміщення). Під час ведення розрахунків враховано технічні характеристики ламп, рівень тарифів на електроенергію та вартість ламп для кожної конкретної країни. Проведено обчислення доцільності використання різних типів ламп у системах зовнішнього та внутрішнього освітлення для різних країн. Розраховано економічний ефект від використання кожного з типів ламп для освітлення вулиць та приміщень за різної вартості грошей з урахуванням тарифів на електроенергію. Вартість грошей - від $i = 5\%$ до $i = 50\%$ відсотків на рік для систем вуличного освітлення та від $i = 5\%$ до $i = 30\%$ відсотків на рік для систем освітлення приміщень. Розрахунки проведено за фактичної вартості систем освітлення та тарифів на електроенергію по кожній країні окремо, а також за умови можливого підвищення рівня цих тарифів. У роботі наведено залежність рівня витрат на експлуатацію систем освітлення від цін на освітлювальне обладнання і тарифів на електроенергію для кожної країни окремо. Графічно відображено результати розрахунків. Представлені у роботі підходи дають можливість проводити техніко-економічні обґрунтування застосування проектів енергоощадних та енергозберігаючих заходів, дозволяють приймати аргументовані економічні та управлінські рішення, обирати системи освітлення з чітким розумінням доцільності використання залежно від умов їхньої роботи.

Ключові слова: світлодіодні (LED) лампи, енергоефективні лампи, натрієві лампи, ртутні лампи, лампи розжарювання, системи вуличного освітлення, системи освітлення приміщення, економічний ефект, тарифи на електроенергію, перспективність, вартість грошей.

Актуальність дослідження. Витрати та реалізацію та експлуатацію систем освітлення є однією з основних статей видатків суб'єктів господарювання та побутових споживачів. Зростання тарифів та активна маркетингова політика виробників енергоефективного обладнання значною мірою зумовлюють необхідність застосування енергоефективних освітлювальних засобів. Проте під час вибору оптимального рішення не завжди можна керуватися тільки емоціями (тільки сучасне, енергоефективне) та рекомендаціями виробників енергоефективного обладнання.

Постановка проблеми. Упродовж останніх років тарифи на електроенергію зростали, як у ЄС, так і в Україні (рис. 1). У першому півріччі 2021 року найвищі ціни на електроенергію для побутових споживачів серед усіх країн ЄС були в Німеччині та Данії – на 45,6% вище середньої ціни по ЄС, яка становить 0,2192 євро за кіловат-годину [10-11]. У Німеччині також найвищі по всьому ЄС ціни на електроенергію для непобутових споживачів, а в Данії навпаки – найнижчі. Середня ціна в ЄС у першій половині 2021 року становила 0,1283 євро за кВт-год [10-11].

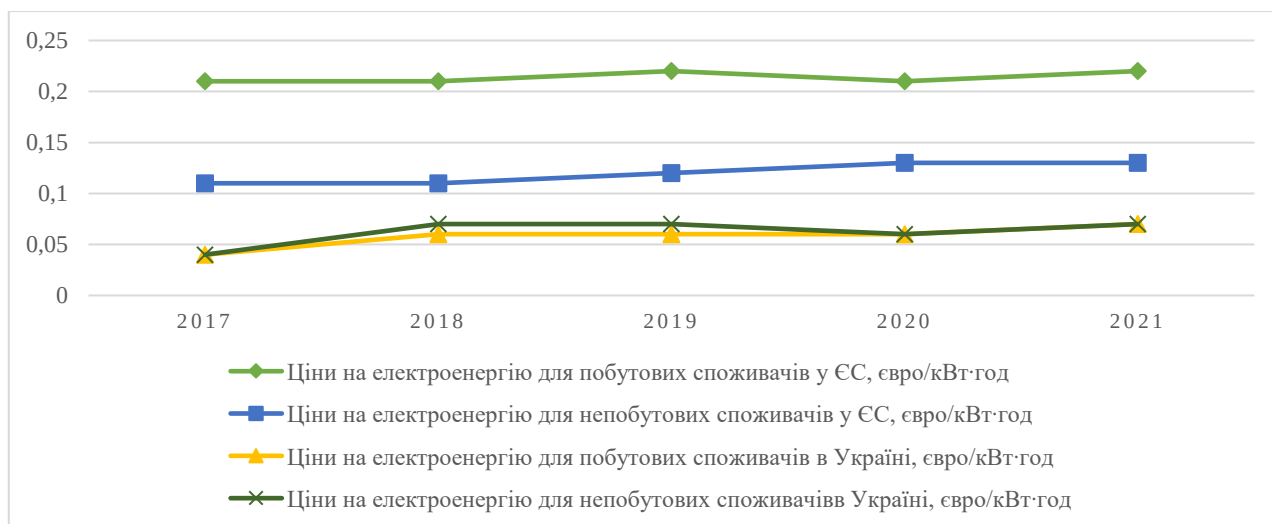


Рисунок 1 - Динаміка тарифів та електроенергію у ЄС та Україні, євро/ кВт-год, 2017-2021 рр. [9-11]

Тому, крім вибору оптимального тарифного плану, перед споживачами електроенергії постає також питання вибору ефективної системи освітлення.

Теоретичний аналіз дослідження. У вітчизняній літературі практично не розглядаються питання розроблення та проведення техніко-економічного обґрунтування проектів у сфері енергозбереження. При розробці бізнес-планів у енергетичній сфері вітчизняні спеціалісти ґрунтуються на рекомендаціях фахівців провідних країн світу – США, Японія, скандинавські та європейські країни, а також на міжнародних методичних та законодавчих матеріалах, що визначають норми та стандарти діяльності, але при цьому не враховують вітчизняні реалії. Розроблення методики техніко-економічного обґрунтування вибору систем освітлення стане інструментом, який може бути використаний при проведенні енергоаудиту та дозволить впроваджувати економічно доцільні рішення та заходи.

Мета статті. Провести аналіз залежності витрат від вартості грошей та тарифів на електроенергію для різних типів ламп для країн ЄС (Німеччина, Данія, Польща) та України, що дозволить приймати обґрунтовані рішення під час вибору системи освітлення.

Задачі дослідження. Провести розрахунок витрат на експлуатацію різних типів ламп у системах зовнішнього та внутрішнього освітлення з урахуванням вартості грошей і тарифів на електроенергію для визначення економічної доцільності їхнього використання.

Викладення основного матеріалу дослідження. У системах вуличного освітлення найчастіше використовують LED, натрієві та ртутні лампи. Під час проведення порівняння доцільності використання різних типів ламп слід дотримувались такого підходу: лампи різних типів мають функціонувати впродовж однакового періоду роботи (найчастіше це термін служби LED лампи), лампи мають забезпечити практично однаковий світловий потік (+5%) [4]. Розрахунки було проведено для випадку використання однієї LED лампи або 2 натрієвих ламп, або 8 ртутних ламп, що сумарно мають однакову тривалість роботи та функціонують 6, 8, 12 та 24 години на добу з урахуванням різної вартості грошей (від $i = 5\%$ до $i = 50\%$ відсотків на рік) та за наявних тарифів на електроенергію у кожній конкретній країні (табл. 1). Аналіз було проведено для теперішніх та прогнозних рівнів тарифів.

Таблиця 1

Вихідні дані для порівняльного аналізу				
Показник	Німеччина	Данія*	Польща**	Україна***
Тариф на електроенергію наявний, євро/кВт·год	0,32	0,11	0,22	0,10
Тариф на електроенергію прогнозований, євро/кВт·год	0,50	0,30		
		0,50		

*за курсом на 10.2021 – 7,44 данських крон (DKK) в 1 євро (EUR);

**за курсом на 10.2021 – 4,58 польський злотий (PLN) в 1 євро (EUR);

***за курсом на 10.2021 – 30,47 українська гривня (UAH) в 1 євро (EUR).

Для порівняння було розраховано витрати на експлуатацію для різних типів ламп за різної тривалості роботи впродовж доби. Результати розрахунків представлено на рис. 1-12.

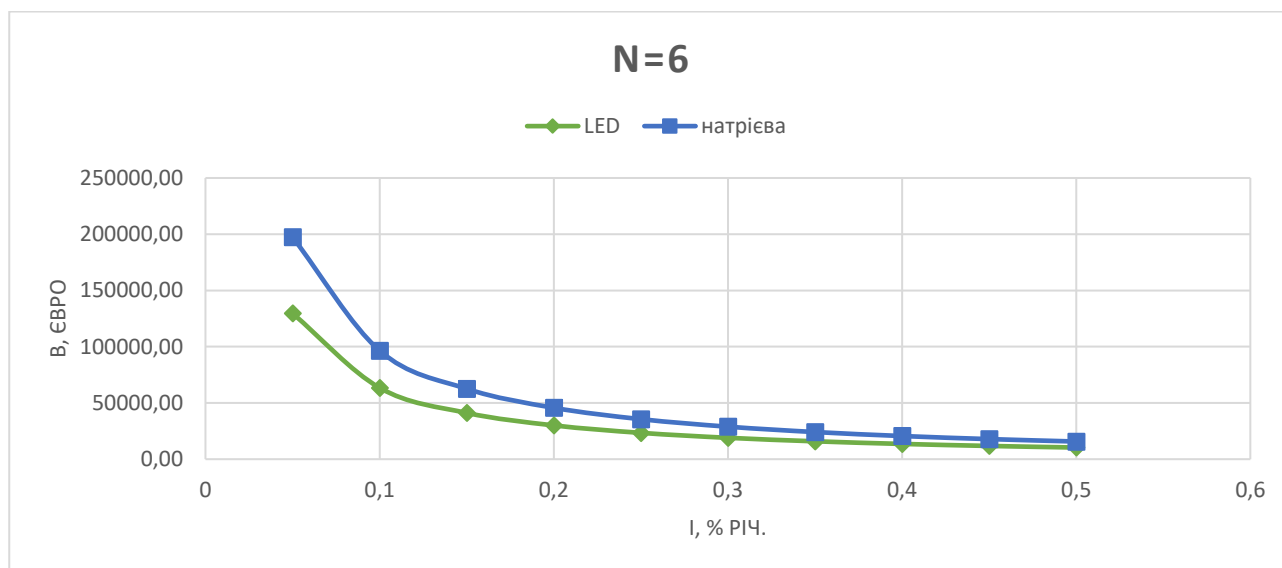


Рисунок 2 - Залежність витрат від вартості грошей при 6 год. функціонування (Німеччина).

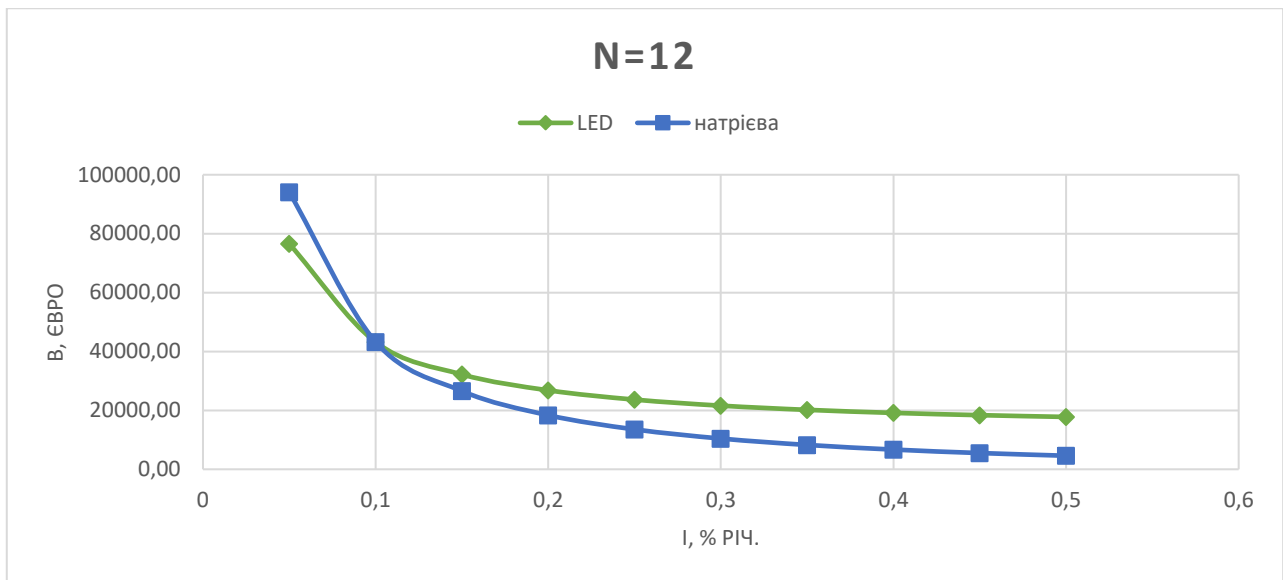


Рисунок 3 - Залежність витрат від вартості грошей при 12 год. функціонування (Німеччина).

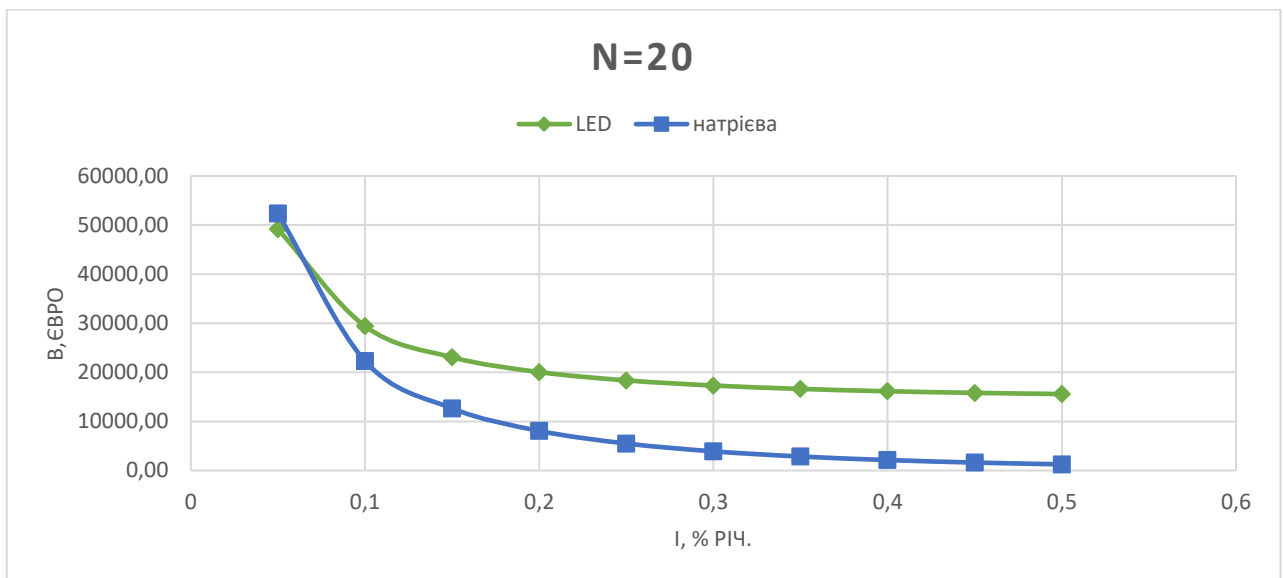


Рисунок 4 - Залежність витрат від вартості грошей при 20 год. функціонування (Німеччина).

Рис. 2-4 демонструють зміну суми витрат на експлуатацію LED та натрієвих ламп при їхній роботі впродовж 6, 12 і 20 годин та за різними відсотковими ставками в Німеччині. Так, при 6 годинах функціонування системи освітлення найбільш доцільним є використання LED ламп (рис. 2), тоді як натрієві лампи найбільш доцільні при збільшенні тривалості роботи системи освітлення – 12 та 20 годин (рис. 3-4). Варто зазначити, що при збільшенні тарифів тенденція зберігається.

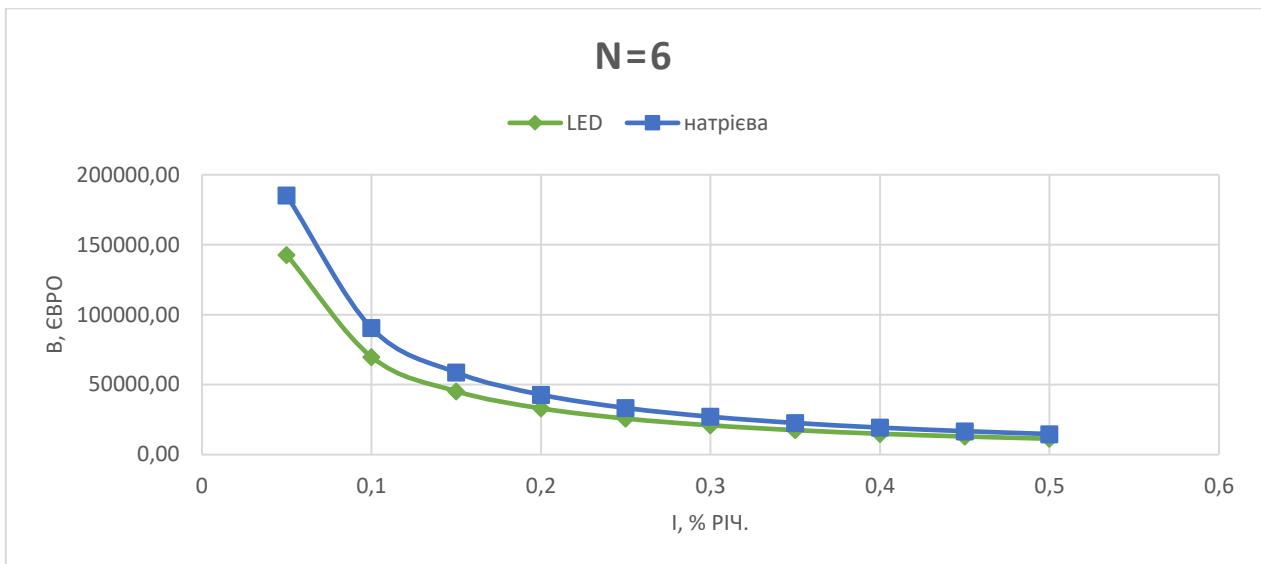


Рисунок 5 - Залежність витрат від вартості грошей при 6 год. функціонування (Данія).

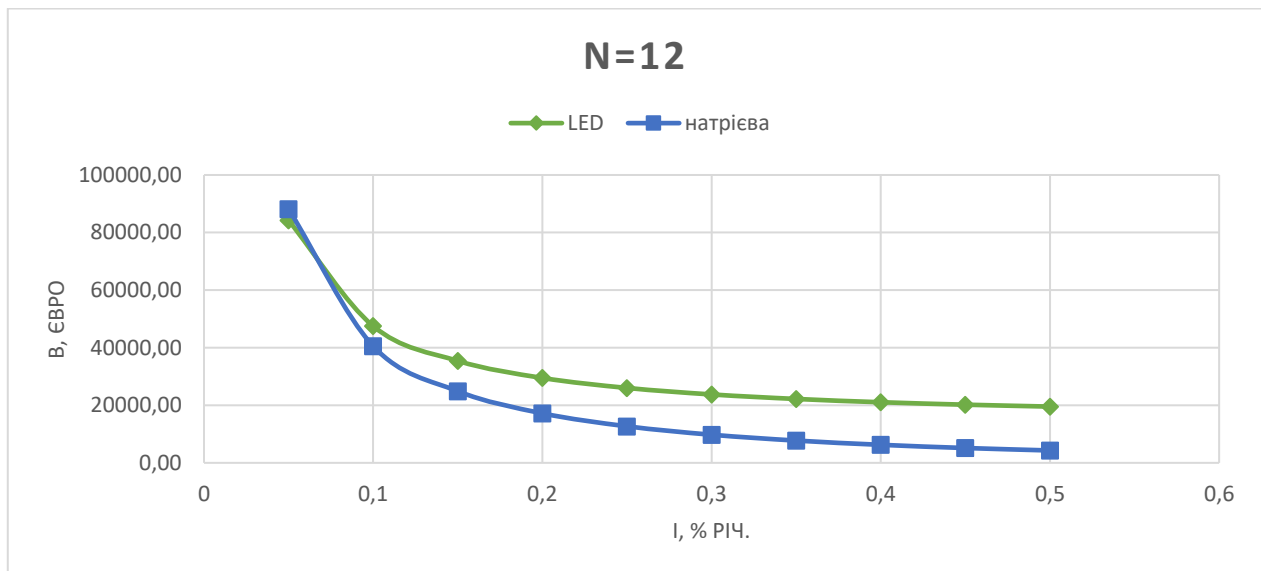


Рисунок 6 - Залежність витрат від вартості грошей при 12 год. функціонування (Данія).

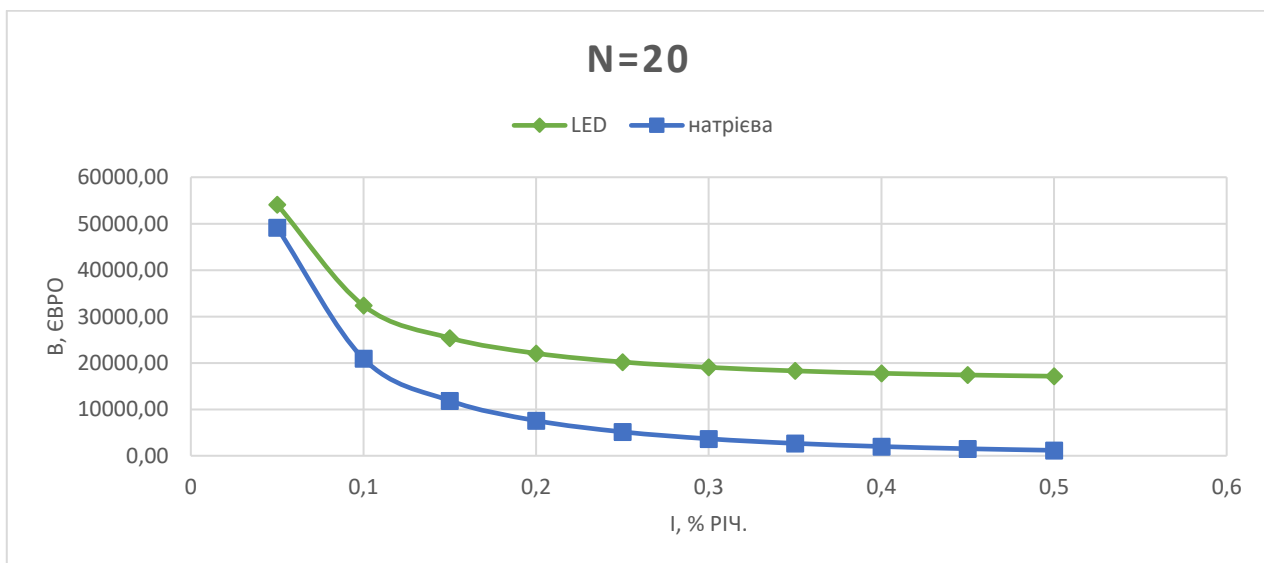


Рисунок 7 - Залежність витрат від вартості грошей при 20 год. функціонування (Данія).

Для Данії (рис. 5-7) рівень витрат для LED ламп менший при 6 годинах роботи, ніж при 12 та 20 годинах. Проте при збільшенні тривалості роботи навпаки – доцільним є використання натрієвих ламп. Подальший аналіз показав, що зростання тарифів не вплине на тенденцію, що склалася.

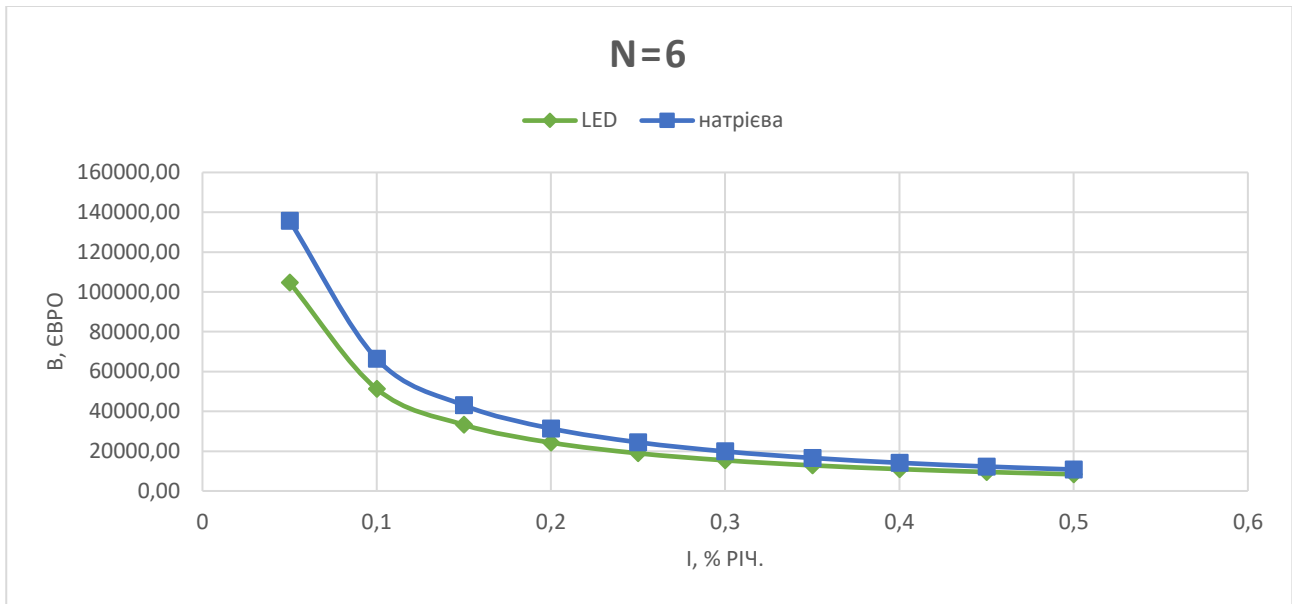


Рисунок 8 - Залежність витрат від вартості грошей при 6 год. функціонування (Польща).

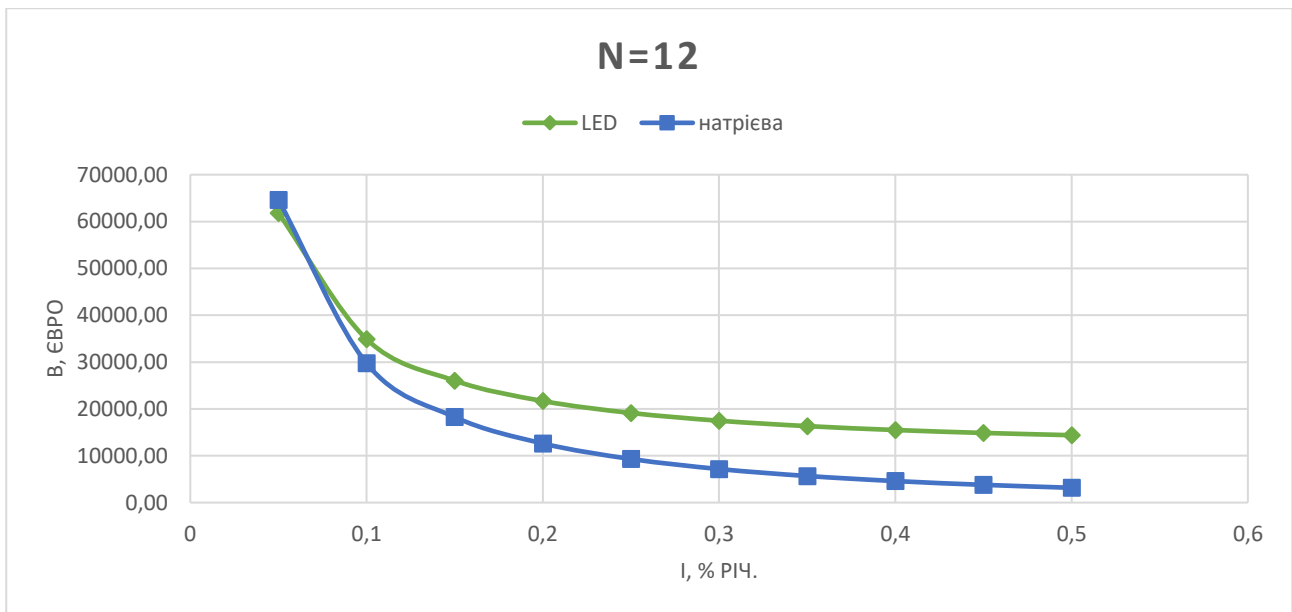


Рисунок 9 - Залежність витрат від вартості грошей при 12 год. функціонування (Польща).

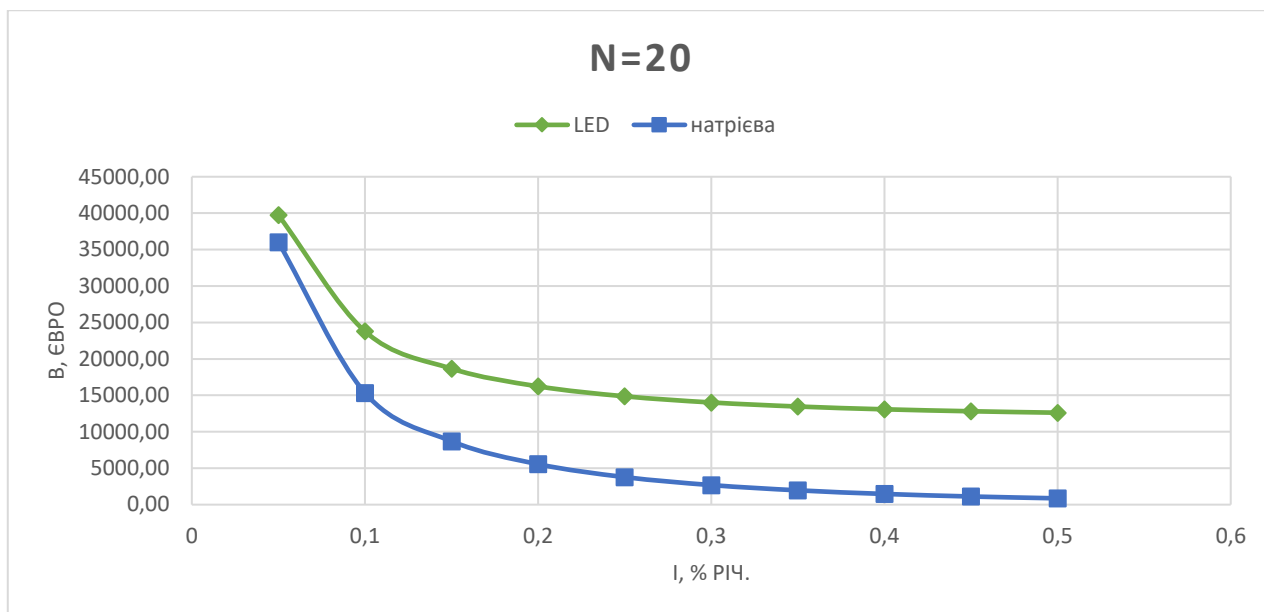


Рисунок 10 - Залежність витрат від вартості грошей при 20 год. функціонування (Польща).

Результати аналізу використання LED та натрієвих ламп у Польщі відображені на рис. 8-10, які засвідчують, що LED лампи вигідні за невеликої тривалості роботи (6 год.), а при збільшенні - у системах освітлення вулиці варто використовувати натрієві лампи. Тобто обсяг витрат при 6 годинах менший для LED ламп, а при 12 та 20 – для натрієвих. Проведений аналіз засвідчив також, що збільшення рівня тарифів не призводить до подальших змін – тенденція залишається.

На відміну від країн ЄС в Україні для вуличного освітлення використовуються ртутні лампи (рис. 11-13). Аналіз засвідчив економічну недоцільність використання цього типу ламп: обсяг витрат на експлуатацію систем освітлення з використанням ртутних ламп перевищує витрати при використанні натрієвих та LED ламп. Тенденції щодо зміни обсягів витрат при різних термінах роботи ламп однакові, а також збільшення тарифів призводить до зростання витрат на експлуатацію, але не змінює загальну ситуацію.

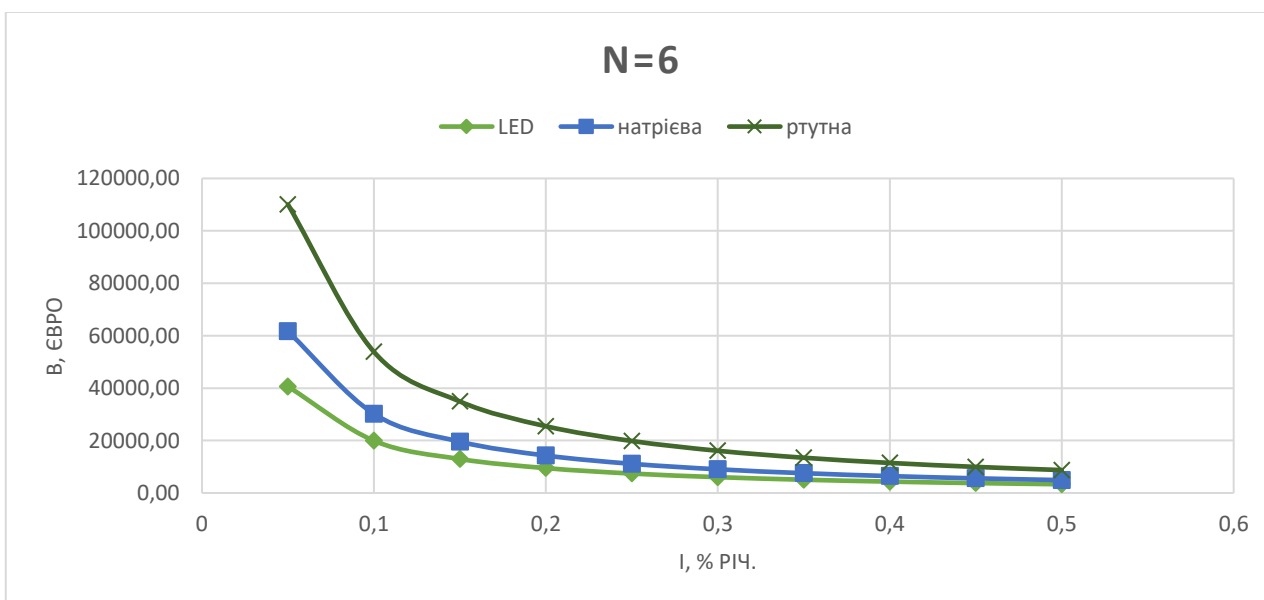


Рисунок 11 - Залежність витрат від вартості грошей при 6 год. функціонування (Україна).

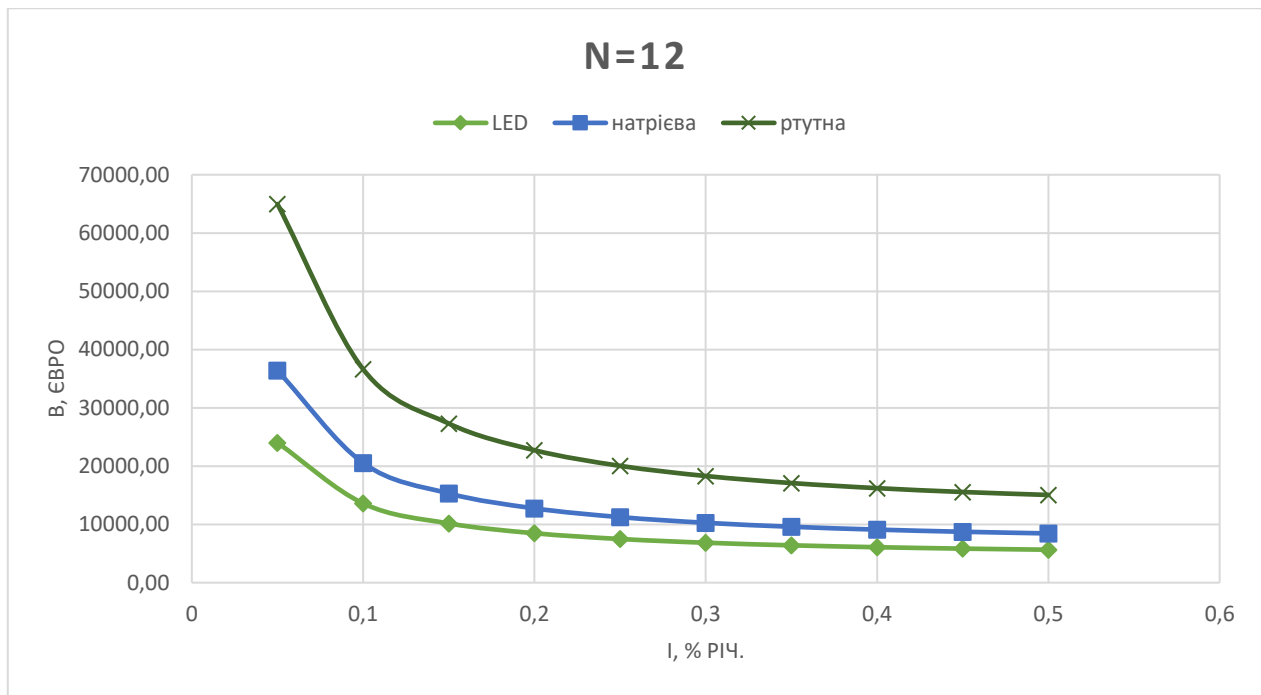


Рисунок 12 - Залежність витрат від вартості грошей при 12 год. функціонування (Україна).

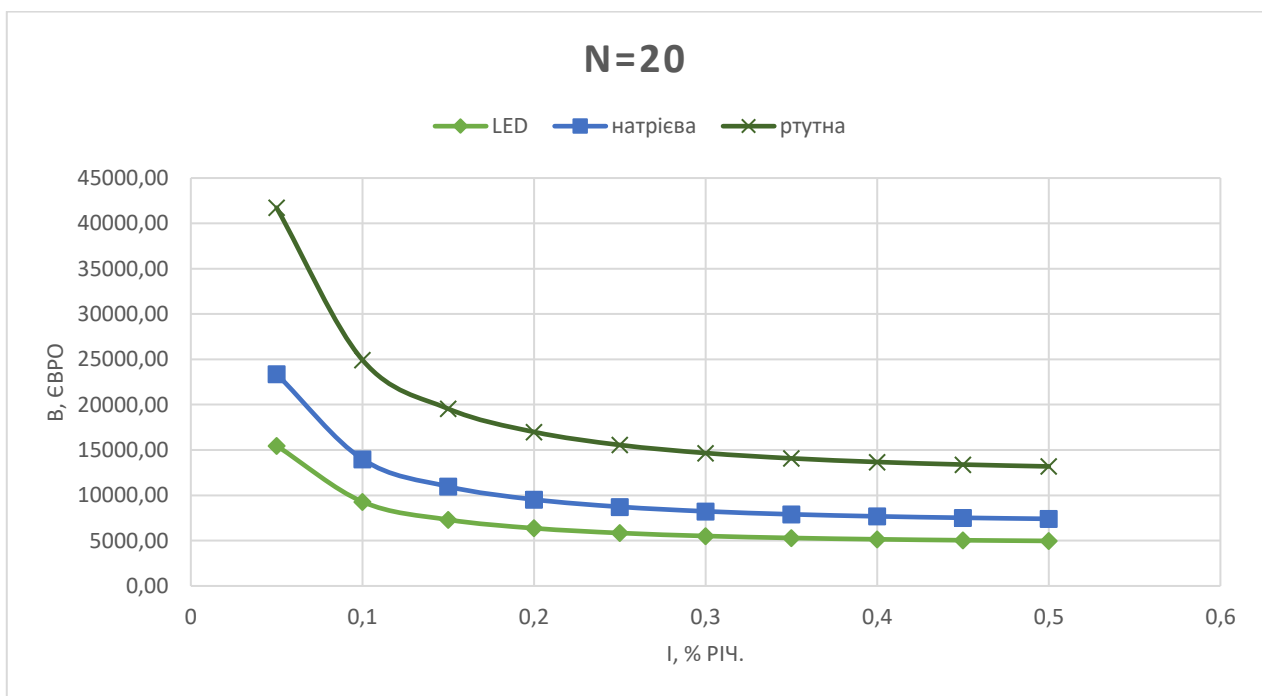


Рисунок 13 - Залежність витрат від вартості грошей при 20 год. функціонування (Україна).

За результатами аналізу (рис. 2-13) за нинішнього рівня тарифів та вартості ламп при виборі типу ламп для систем вуличного освітлення необхідно враховувати насамперед тривалість їхнього функціонування впродовж доби – чим більше тривалість роботи, тим, наприклад, менші витрати для натрієвих ламп. Така тенденція є характерною для країн ЄС. Для України ж найбільш економічно доцільним є використання LED ламп. Крім низьких витрат на експлуатацію, ці лампи є найбільш енергоефективними, екологічно безпечними та не потребують спеціальної утилізації.

Під час проведення попередніх досліджень [див. 4-7] щодо систем освітлення приміщень було проаналізовано можливість використання LED, енергоефективних та ламп розжарювання: порівнювали або 3 енергоефективні лампи, або 30 звичайних ламп розжарювання, або 2 LED лампи, що забезпечують однаковий світловий потік. Аналіз було проведено для ламп, що функціонують 4, 8, 16 та 24 години на добу. Розрахунки проведено для різної вартості грошей (від $i = 5\%$ до $i = 50\%$ відсотків на рік) та для чинних тарифів на електроенергію і за умови їх підвищення (табл. 2).

Таблиця 2

Вихідні дані для порівняльного аналізу

Показник	Німеччина	Данія*	Польща**	Україна***
Тариф на електроенергію наявний, євро/кВт	0,30		0,32	0,05
Тариф на електроенергію прогнозований, євро/кВт	0,50			0,30
				0,50

*за курсом на 10.2021 – 7,44 данських крон (DKK) в 1 євро (EUR);

**за курсом на 10.2021 – 4,58 польський злотий (PLN) в 1 євро (EUR);

***за курсом на 10.2021 – 30,47 українська гривня (UAH) в 1 євро (EUR).

Для визначення економічної доцільності використання певних типів ламп було проведено порівняльний аналіз витрат на експлуатацію за різної тривалості роботи впродовж доби й тарифів на електроенергію. Результати свідчать, що зі збільшенням тривалості роботи ламп впродовж доби обсяг витрат зменшується і найбільш вигідним є використання LED ламп. На рисунках 14-21 зображено графіки залежності витрат від вартості грошей для країн ЄС (Німеччина, Данія, Польща) та України.

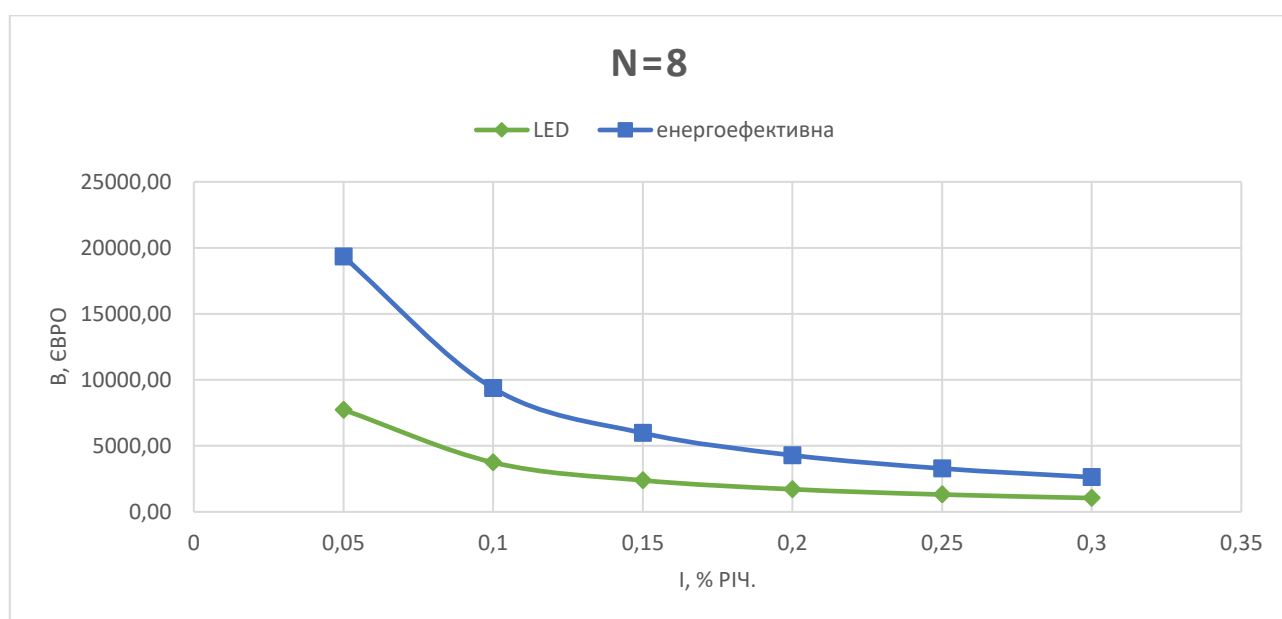


Рисунок 14 - Залежність витрат від вартості грошей при 8 год. функціонування (Німеччина).

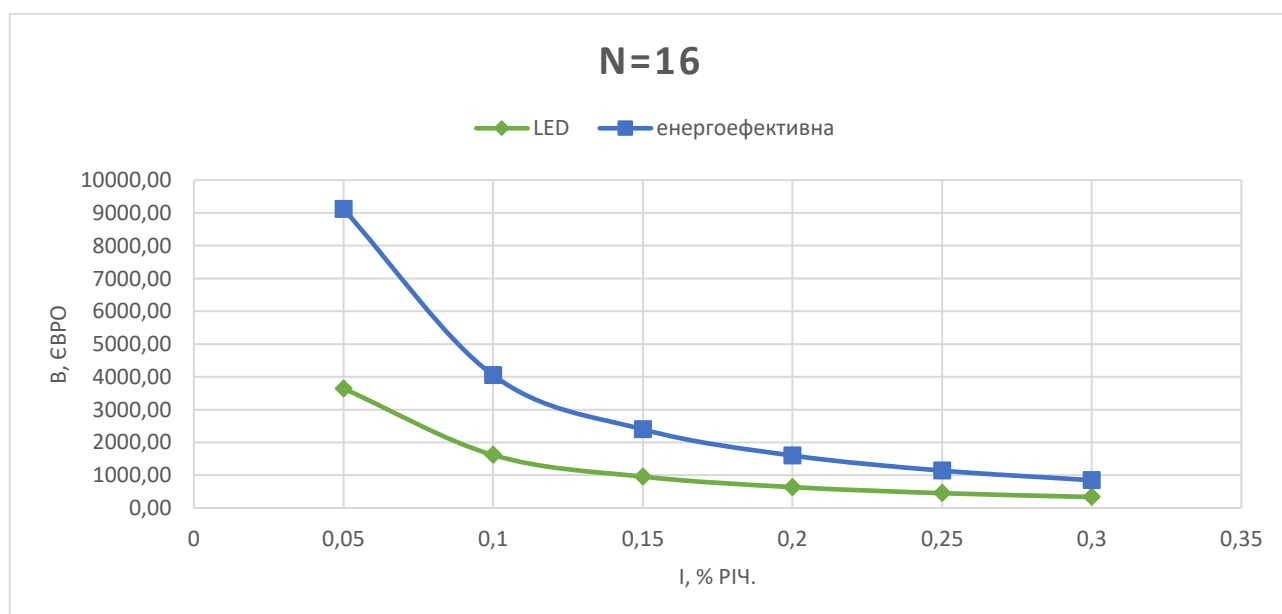


Рисунок 15 - Залежність витрат від вартості грошей при 16 год. функціонування (Німеччина).

На рис. 14 і рис. 15 показано, як змінюється обсяг витрат у разі 8 та 16 годин роботи на добу LED та енергоефективних ламп. Економічно доцільним варіантом є використання LED ламп у системах освітлення приміщень – витрати, що виникають при роботі цього типу ламп, менші ніж при застосуванні енергоефективних ламп. Зі збільшенням тривалості роботи рівень витрат зменшується. Результати отримано з урахуванням зростання у Німеччині впродовж року цін на засоби освітлення та тарифів на електроенергію [5].

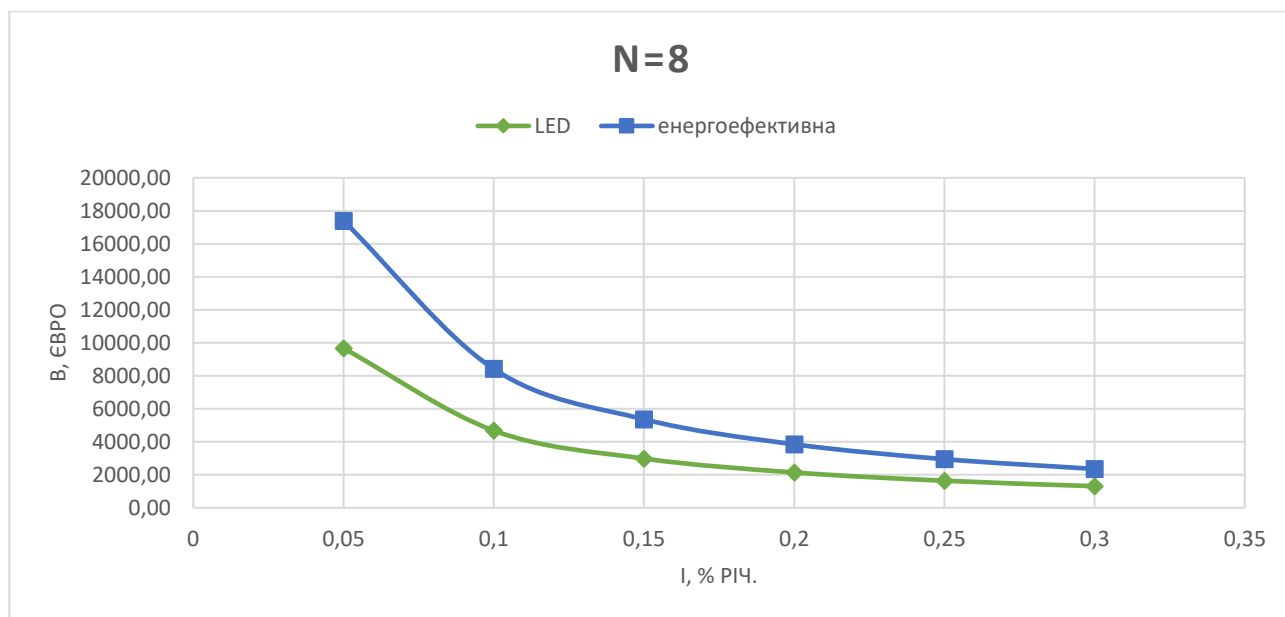


Рисунок 16 - Залежність витрат від вартості грошей при 8 год. функціонування (Данія).

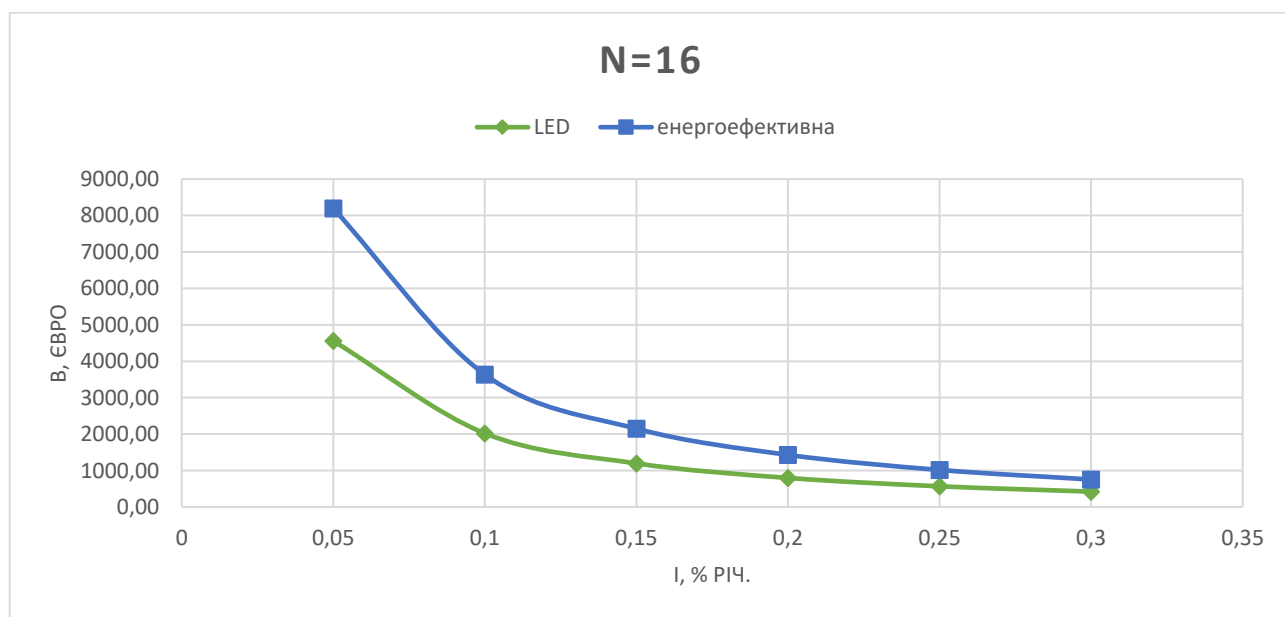


Рисунок 17 - Залежність витрат від вартості грошей при 16 год. функціонування (Данія).

За останній рік тарифи на електроенергію у Данії зросли майже на 10% [5], проте в цілому ситуація подібна до Німеччини (рис. 16-17) – LED лампи є найбільш економічно вигідними. До того ж, попередні дослідження свідчать, що LED лампи є ударостійкими, не містять шкідливих речовин, повністю підлягають вторинній переробці та мають найнижчий рівень пульсації, яка призводить до підвищеної втомлюваності та поганого самопочуття. Тобто цей тип ламп повністю задовольняє вимоги щодо безпеки та здоров'я, визначені стандартом DS/EN 12464-1 [2], який з 2021 року включено в будівельні норми BR18 [8] відповідно до положень Закону про будівництво, що діє на території Данії.

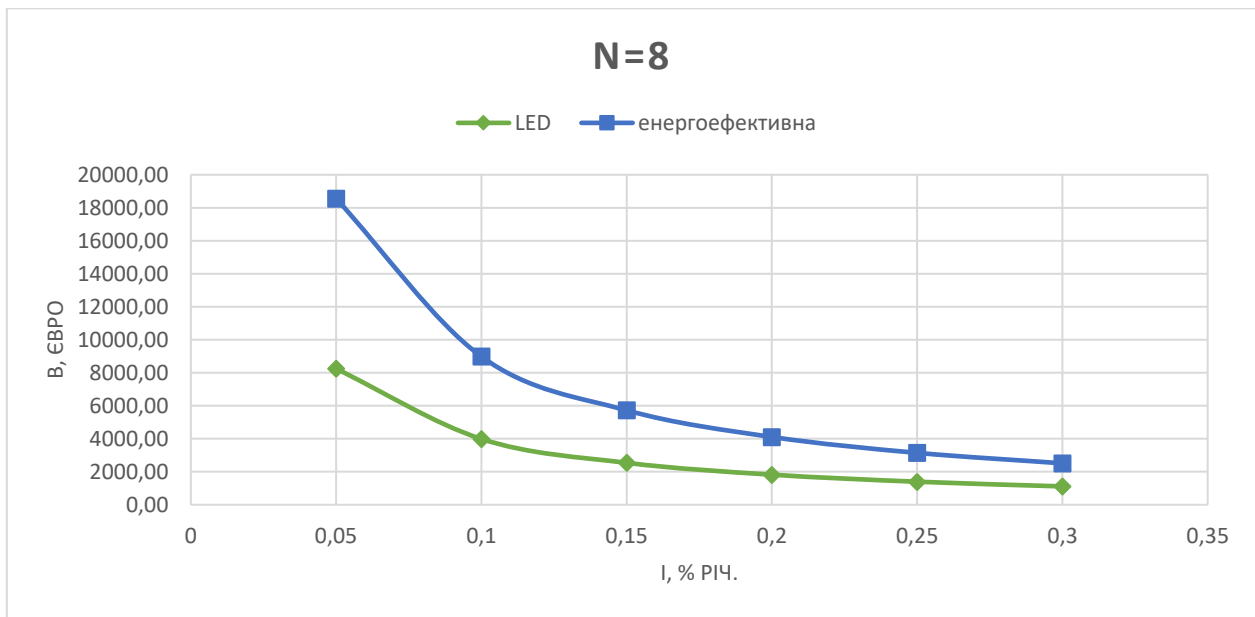


Рисунок 18 - Залежність витрат від вартості грошей при 8 год. функціонування (Польща).

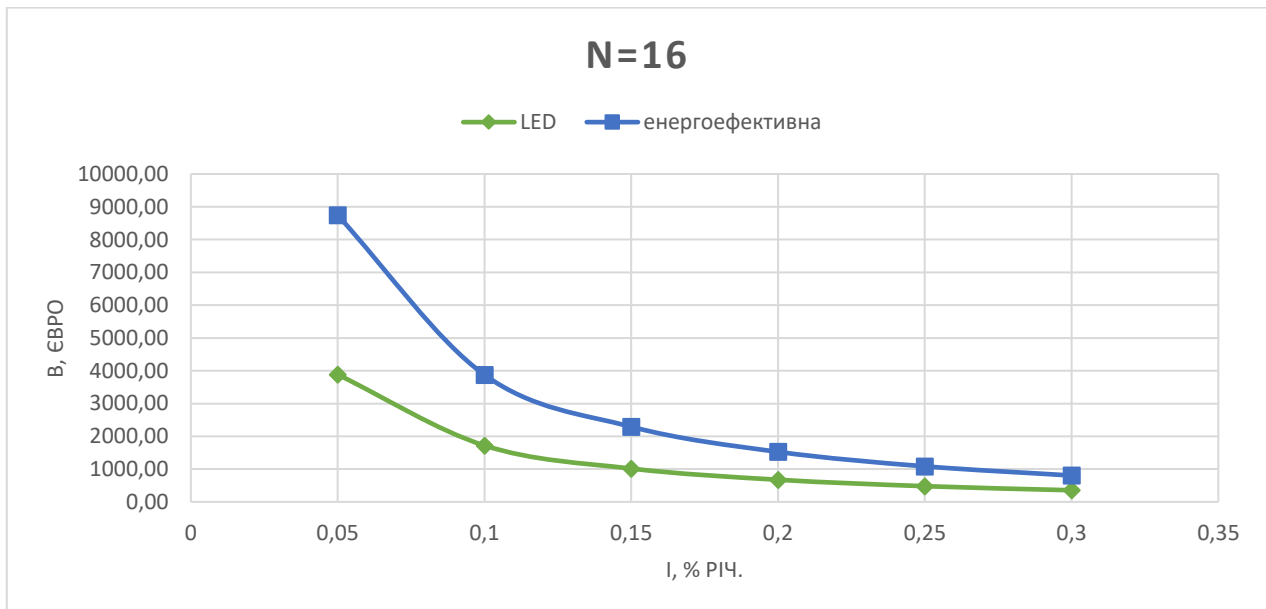


Рисунок 19 - Залежність витрат від вартості грошей при 16 год. функціонування (Польща).

Відповідно до рішень ЄС та уряду Польщі згідно Директиви 2009/125/ЄС [1] було встановлено заборону на використання ламп розжарювання, тому аналіз проведено тільки для LED та енергоефективних ламп. Як результат (рис. 18-19) - у системах освітлення приміщень найвигіднішим є використання LED ламп. Проте на відміну від Німеччини та Данії у Польщі тарифи на електроенергію збільшилися майже у 2 рази, що підвищує важливість проведення техніко-економічного обґрунтування при виборі систем освітлення.

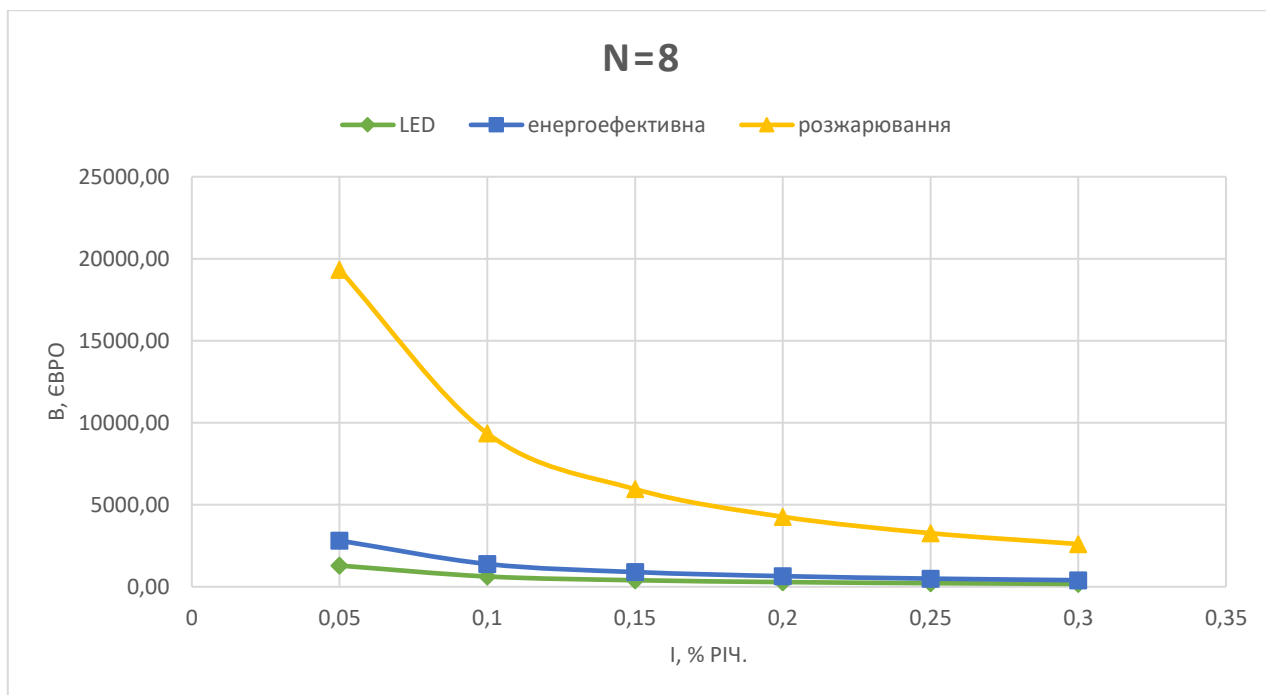


Рисунок 20 - Залежність витрат від вартості грошей при 8 год. функціонування (Україна).

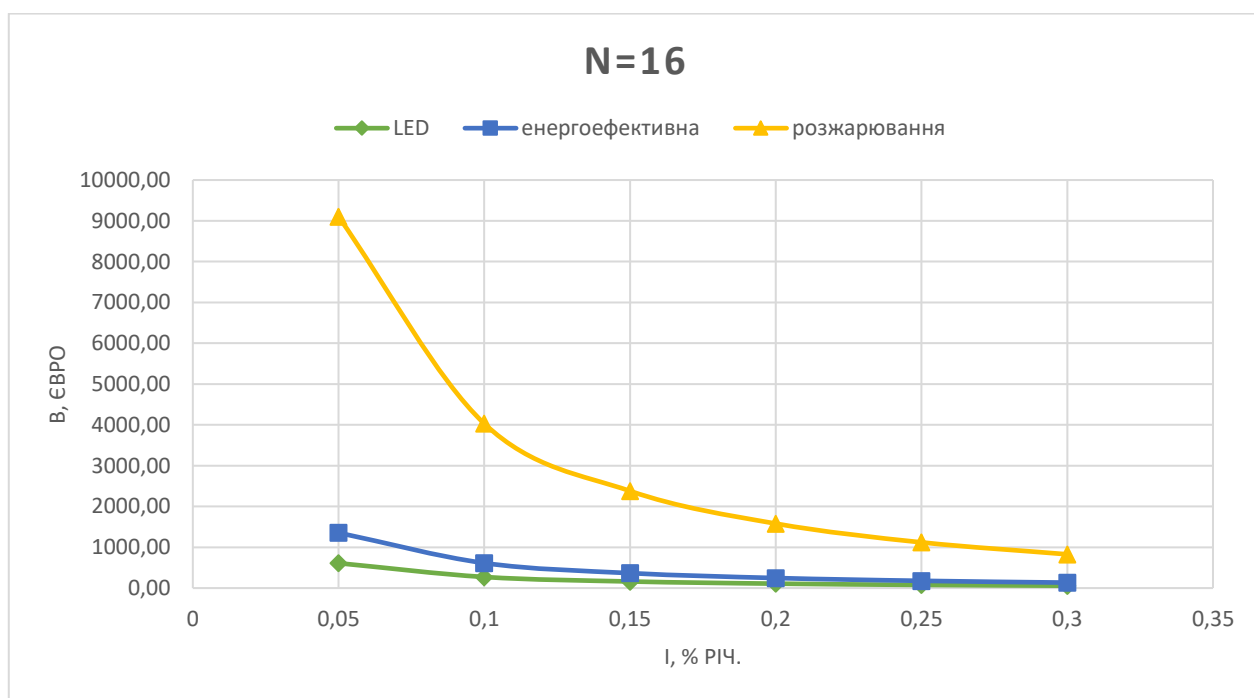


Рисунок 21 - Залежність витрат від вартості грошей при 8 год. функціонування (Україна).

На відміну від ЄС в Україні досі використовуються лампи розжарювання (рис. 20-21), які ще минулого року були також і в Польщі. Аналіз засвідчив економічну недоцільність використання цього типу ламп: аналогічно з Польщею, Данією та Німеччиною слід надавати перевагу системам освітлення приміщень, що використовують LED лампи, до того ж обсяг витрат на експлуатацію систем освітлення з використанням ламп розжарювання перевищує витрати в разі використання енергоефективних та LED ламп у 6 та 14 разів відповідно.

Таким чином, аналіз залежності, наведений на рис. 14-21, засвідчує, що використання LED ламп у системах внутрішнього освітлення є найбільш економічно доцільним для всіх країн ЄС за нинішньої вартості систем освітлення та рівнів тарифів. Слід зазначити, що у разі збільшення рівня тарифів використання LED ламп залишається найбільш економічно вигідним варіантом. До того ж лампи цього типу є найбільш енергоефективними, екологічними, не вимагають спеціальної утилізації та мають низькі експлуатаційні витрати.

Представлені у роботі підходи використовуються під час викладання курсів «Енергетичний менеджмент», «Енергетичний аудит», «Комп'ютерний моніторинг енергетичних процесів і систем», а також «Основи енергоефективності» та «Бізнес-планування у сфері енергозбереження».

Висновки. Освітлення вулиць відіграє важливу роль у забезпеченні комфортного та безпечного життя населення міст і діяльності суб'єктів господарювання. Витрати на освітлення становлять значну частину в загальній структурі комунальних витрат. Вибір оптимальної системи освітлення дозволяє заощадити кошти та підвищити ефективність використання енергоресурсів. Аналіз показав, що найбільш економічно доцільним є застосування натрієвих ламп у системах вуличного освітлення для країн ЄС та LED ламп для України – витрати на експлуатацію цих типів ламп у декілька разів нижчі ніж при використанні альтернативних систем зовнішнього освітлення.

Майже половина споживання первинних енергоресурсів у країнах ЄС припадає на будівлі. Житлові будинки споживають близько двох третин цієї енергії, а нежитлові будівлі та споруди, наприклад, промислові – одну третину. При цьому на системи освітлення припадає третина всієї енергії, що споживає будівля. Відомо, що до 80% надлишкового енергоспоживання можна уникнути завдяки використанню ефективних систем освітлення, у яких використовуються сучасні енергоощадні типи ламп [3]. Хоча тарифи на електроенергію та ціни на обладнання для систем освітлення в ЄС та Україні змінюються, розрахунки показують, що LED лампи є найбільш економічно доцільними для використання у системах освітлення, як житлових, так і комерційних приміщень. Цей тип ламп є ефективним при коротких та довгих термінах роботи, не потребує особливих умов експлуатації та спеціальних заходів утилізації, безпечний для здоров'я та комфортний для роботи [5].

Слід враховувати, що під час розробки та реалізації проектів систем освітлення варто також брати до уваги міжнародне та вітчизняне законодавство, яке визначає сфери діяльності та встановлює відповідні норми та стандарти щодо безпеки, здоров'я та ефективного функціонування цих систем.

Представлені у роботі підходи дають можливість обґрунтовано підходити до вибору систем освітлення вулиць, комерційних і житлових приміщень.

Література

1. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council. URL: <http://dsemotors.com/reglament-komissii-es-640-2009-ot-22-iyulya-2009-goda-ob-osushhestvlenii-direktiv-2005-32-ec-evropejskogo-parlamenta-i-soveta-v-otnoshenii-trebovanij-ecodesign-r-elektrosvigatelyam/>
2. European Standards BS EN 12464-1:2021. URL: <https://www.en-standard.eu/bs-en-12464-1-2021-light-and-lighting-lighting-of-work-places-indoor-work-places/>
3. Аналіз ефективності використання енергоресурсів у розвинених зарубіжних країнах і залежність від їх імпорту: аналітичні матеріали / «НЕК «Укренерго». 2015 URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektivnist_energ_resursiv.pdf
4. Мамалига В. М. Методичні рекомендації щодо розроблення техніко-економічного обґрунтування проектів у сфері енергозбереження в Україні: навч. посіб. / за ред. Мамалиги В. М. Київ: United Nations Industrial Development Organization, 2018. -193 с.
5. Мамалига В.М., Малай Т.В. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи освітлення приміщення з використанням ламп різних типів для країн Євросоюзу (Німеччина, Данія, Польща) / Формування ринкових відносин в Україні. 2021. - № 3 (238), 2021
6. Мамалига В.М., Мамалига Г.В. Програми енергозбереження: проблеми та можливі шляхи їхнього вирішення / Науково-дослідний економічний інститут Міністерства економічного розвитку і торгівлі України: Формування ринкових відносин в Україні. 2015. - № 1 (164), 2015.
7. Мамалига В.М. Разработка технико-экономического обоснования проектов в сфере энерго- и ресурсосбережения / Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2014. - № 3 (69).
8. Норми BR18. URL: <https://byggningsreglementet.dk/>
9. Статистична інформація. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
10. Статистична інформація. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page
11. Статистична інформація. URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/cini-na-elektroenergiju-u-krainah-ievropi/>

Reference

1. Directive 2009/125 / EC of the European Parliament and of the Council. URL: <http://dsemotors.com/reglament-komissii-es-640-2009-ot-22-iyulya-2009-goda-ob-osushhestvlenii-direktiv-2005-32-ec-evropejskogo-parlamenta-i-soveta-v-otnoshenii-trebovanij-ecodesign-r-elektrosvigatelyam/>
2. European Standards BS EN 12464-1: 2021. URL: <https://www.en-standard.eu/bs-en-12464-1-2021-light-and-lighting-lighting-of-work-places-indoor-work-places/>
3. Analysis of energy efficiency in developed foreign countries and dependence on their imports: analytical materials / "NEC" Ukrenergo ". 2015 URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/1.-Efektivnist_energ_resursiv.pdf

4. Mamalyga VM Methodical recommendations for the development of feasibility study of projects in the field of energy saving in Ukraine: textbook. way. / for ed. Mamaliga VM Kyiv: United Nations Industrial Development Organization, 2018. -193 p.
5. Mamaliga VM, Malay TV Feasibility study of the choice of lighting system using different types of lamps for the European Union (Germany, Denmark, Poland) / Formation of market relations in Ukraine. 2021. - № 3 (238), 2021
6. Mamaliga VM, Mamaliga GV Energy saving programs: problems and possible ways to solve them / Research Economic Institute of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine: Formation of market relations in Ukraine. 2015 - № 1 (164), 2015
7. Mamalyga VM Development of feasibility study for projects in the field of energy and resource conservation / Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2014. - № 3 (69).
8. BR18 standards. URL: <https://byggningsreglementet.dk/>
9. Statistical information. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
10. Statistical information. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page
11. Statistical information. URL: <https://vsenergy.com.ua/categories-page/cini-na-elektroenergiju-u-krainah-ievropi/>

The expediency of using the most common variants of outdoor and indoor lighting systems using different types of lamps for the European Union (Germany, Denmark, Poland) and Ukraine is analyzed. The study was conducted for outdoor lighting systems, which typically use LED, mercury and sodium lamps, as well as LED, energy efficient and incandescent lamps for indoor lighting systems (office and residential). The calculations take into account the technical characteristics of lamps, the level of electricity tariffs and the cost of lamps for each country. The expediency of using different types of lamps in outdoor and indoor lighting systems for different countries has been calculated. The economic effect of using each of the types of lamps for street and indoor lighting at different cost of money, taking into account electricity tariffs, is calculated. The cost of money is from $i = 5\%$ to $i = 50\%$ percent per year for street lighting systems and from $i = 5\%$ to $i = 30\%$ percent per year for indoor lighting systems. Calculations were made at the actual cost of lighting systems and electricity tariffs for each country separately, as well as subject to a possible increase in the level of these tariffs. The paper presents the dependence of the level of costs for the operation of lighting systems on the prices of lighting equipment and electricity tariffs for each country separately. The results of calculations are graphically displayed. The approaches presented in the paper provide an opportunity to conduct feasibility studies for energy saving projects; allow making informed economic and managerial decisions, choosing lighting systems with a clear understanding of the feasibility of use depending on their working conditions.

Key words: LED lamps, energy efficient lamps, sodium lamps, mercury lamps, incandescent lamps, outdoor lighting systems, indoor lighting systems, economic effect, electricity tariffs, prospects, cost of money.

Мамалига В. М. - канд. техн. наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» та Національного університету «Києво-Могилянська академія».

Малай Т. В. – студентка Національного університету «Києво-Могилянська академія».